Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLV, вып. 2, 1963 г.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ СВИНЦА

Е. М. Квятковский, И. Н. Крицук

Рассматривая возможность оценки масштаба ожидаемого коренного оруденения на основе подсчета суммарного (интегрального) содержания металла в ореоле, А. П. Соловов [4] для рудных тел линейно вытянутой формы предложил формулу

$$\sum_{0}^{n} C_x \Delta x = q C_p h, \qquad (1)$$

где C_x — аномальное содержание металла в рыхлых отложениях, установленное по профилю, секущему рудную зону вкрест простирания и достаточно удаленному от концов ореола, %;

Δx — шаг отбора проб по профилю, *м*;

C_p — среднее содержание металла в рудном теле, %;

h — видимая мощность зоны, *м*;

q — коэффициент пропорциональности.

Прежде чем определять содержание металла в рудном теле ($C_p h$), выраженное в метропроцентах, необходимо установить коэффициент пропорциональности q для данного района и типа руд. А. П. Соловов рекомендует для этой цели «... сопоставлять величины метропроцента металла в ореоле ($\sum_{0}^{n} C_x \Delta x$), найденные по графикам металлометрической съемки, со значениями метропроцента в рудном теле по данным документации и бороздового опробования горных выработок, вскрывающих коренное оруденение в том же сечении» [2, стр. 73]. Однако по формуле

$$q = \frac{\sum_{0}^{n} C_x \Delta x}{C_p h}, \qquad (2)$$

значения q для разных сечений одного и того же рудного тела различны. Такое определение q приведено, например, на рис. 1 по двум сечениям рудной зоны Лугиинского свинцово-цинкового месторождения (Восточное Забайкалье), приуроченного к юрским эффузивам типа диабазов и диабазовых порфиритов. Рудная зона, сопровождаемая широким первичным ореолом рассеяния свинца в коренных породах, прослежена канавами более чем на 300 *м* по простиранию и опробована с поверхности бороздовым способом. Слабоминерализованные вмещающие породы (первичный ореол рассеяния) при этом не опробовались, поэтому при расчетах q использовалась формула, учитывающая местный «нормаль-

ный фон» рыхлых отложений $C_ф$, обусловленный слабой минерализацией вмещающих пород,

$$q = \frac{\sum (C_x - C_ф)\,\Delta x}{C_p h} \qquad (3)$$

Значения q, полученные при расчетах по 14 сечениям, колеблются от 0,11 до 15,5, т. е. более чем в 100 раз. В частности, по сечениям *I—I* и *II—II* (рис. 1) отношение $q_{II} : q_I = 60$. Ясно, что такое резкое различие в значениях q объясняется неравномерностью содержания свинца в рудной зоне. Однако эта неравномерность слабо проявляется в ореоле рассеяния благодаря интенсивному перемешиванию рыхлого материала в процессе формирования элювиально-делювиальных отложений. Кроме того, в тех случаях, когда отчетливо намечается снос ореола вниз по склону, трудно установить, какому именно участку рудной зоны соответствует обогащенный участок ореола, что характерно, например, для профиля *II—II*. Еще более трудно это сделать, если простирание рудного тела совпадает с направлением сноса рыхлых отложений или расположено к нему под некоторым углом. В таких случаях канавы для вскрытия рудных тел обычно располагают несколько выше по склону относительно центральной части ореола с таким расчетом, чтобы вскрыть наиболее богатую часть рудного тела. При таком взаимном расположении ореола и рудного тела получаются, как правило, заниженные значения q. Естественно, что при достаточно густой сети канав, вскрывающих рудное тело, более правильные значения q можно получить вычислением среднего. Использовать же для интерпретации значения q, полученные по одному сечению рудного тела, недопустимо. Таким образом, формулы (1), (2), (3), которые могут быть названы линейными интегральными, малопригодны даже для оценки ореолов рассеяния рудных тел жильной формы. Если же ореол рассеяния и рудное тело имеют неправильную форму или, как это часто бывает в Восточном Забайкалье, ореол рассеяния сильно вытянут вниз по склону (рис. 2), то расчет по линейным интегральным формулам невозможен.

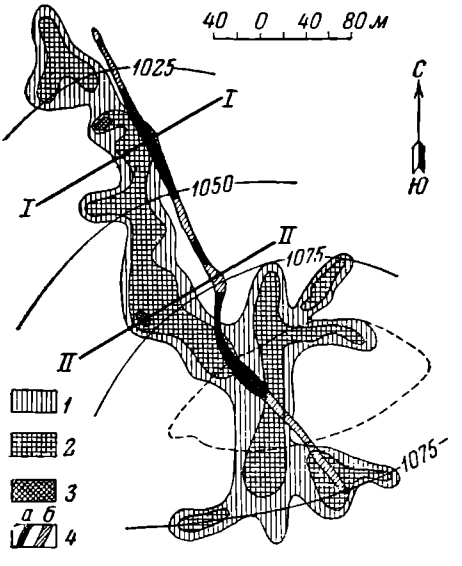


Рис. 1. Ореол рассеяния свинца главной рудной зоны Лугиинского месторождения, %

В делювии: *1* — 0,05—0,1; *2* — 0,1—0,5; *3* — 0,5—1,0; *4* — рудная зона: *а* — >0,8; *б* — <0,8

Профиль	Канава	$\Sigma(C_x - C_ф)\Delta x$, м %	$C_p h$, м %	q	
I—I	657	5,62	20,4	0,27	$C_ф = 0{,}03\%$
II—II	652	12,44	0,8	15,5	

Более уверенно оценка ореолов рассеяния рудных тел как жильной, так и любой иной формы может быть дана при использовании так называемых площадных интегральных формул [1, 3] вида

$$P = S(C_o - C_ф), \qquad (4)$$

где P — продуктивность ореола, $м^2$ %;

S — площадь ореола, $м^2$;

C_o — средневзвешенное содержание металла в пределах ореола, %.

Сопоставляя «продуктивности» ореолов рассеяния известных рудных тел и вновь выявленных ореолов, расположенных в аналогичной геолого-геоморфологической обстановке, можно судить о перспективности вновь выявленных ореолов. При таком способе оценки ореолов коэффициент q не определяется, хотя его влияние и учитывается в скрытом виде. Однако определение q чрезвычайно полезно, так как это позволит, во-первых, более уверенно проводить количественную интерпретацию ореолов рассеяния и, во-вторых, получить некоторые выводы о поведении металлов в процессе формирования ореолов.

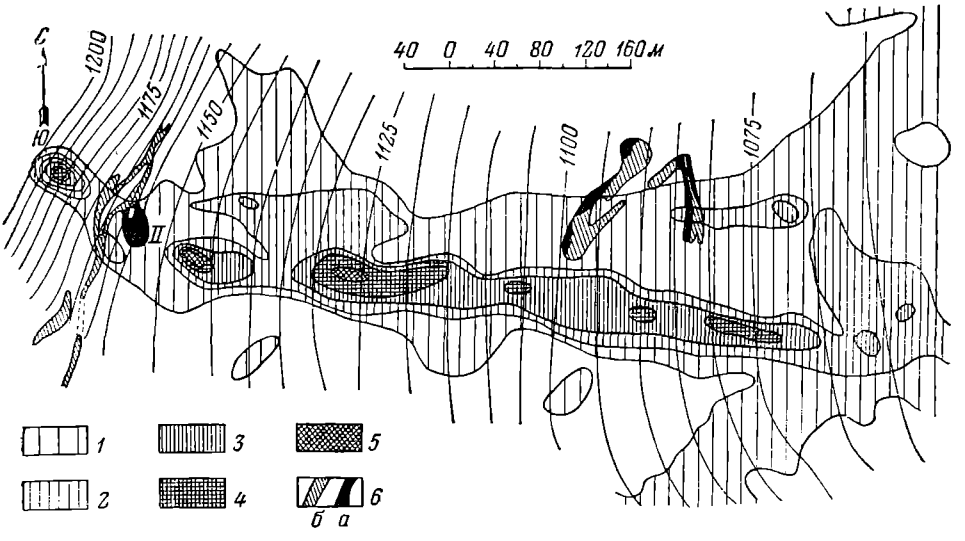


Рис. 2. Ореол рассеяния свинца главного рудного тела участка II Северо-Акатуйского месторождения, %

В делювии: *1* — 0,003—0,01; *2* — 0,01—0,03; *3* — 0,03—0,1; *4* — 0,1—0,3; *5* — 0,3—1,0; *6* — рудное тело: *а* — >0,8; *б* — <0,8

Иначе говоря, целесообразно для количественной интерпретации ореолов рассеяния рудных тел любой формы использовать площадную интегральную формулу

$$\sum_{0}^{n} C_x \Delta S = q C_р S_р, \qquad (5)$$

где C_x — аномальное содержание металла в пробах, отобранных в пределах ореола, %;

ΔS — площадная густота сети отбора проб, $м^2$;

$S_р$ — площадь выхода рудного тела под наносы, $м^2$.

В основу вывода этой формулы положены те же предположения, что и при выводе формулы (1).

Приводим краткую геологическую характеристику месторождений и рудных участков, расположенных в районах Восточного Забайкалья, по которым рассчитан коэффициент q по линейным и площадной интегральным формулам.

Курултыкенское месторождение приурочено к крупному меридиональному разлому, в висячем боку которого развиты метаморфические сланцы ононской серии (S_2—C_1), в лежачем боку — песчано-сланцевые отложения перми. В метаморфических сланцах развиты четко выраженные крутопадающие трещины оперения основного разлома. Оруденение приурочено как к основному разлому, так и к его трещинам оперения. Рудные тела представляют собой минерализованные зоны дробления мощностью 0,2—1 *м*, сопровождаемые зараженностью боковых пород

свинцом и особенно цинком. Мощность рудных тел, включая оруденение боковых пород, от 1 до 12 *м*, в среднем 1,4—5,4 *м*. Руды почти полностью окислены до глубины 50 *м*. С поверхности рудные тела вскрыты густой сетью канав, расстояние между которыми выдерживается по всей площади месторождения примерно 20 *м*. Все канавы опробованы бороздовым способом, причем в интервал опробования включены и слаборуденелые вмещающие породы.

Северо-Акатуйское месторождение. Участок Первомайский сложен в основном толщей палеозойских известняков с прослоями сланцев, прорванных дайками порфиритов. Оруденение приурочено к мощной тектонической зоне северо-восточного простирания, причем полиметаллическое оруденение тяготеет к известнякам. Форма рудных тел неправильная, нередки трубообразные залежи. До глубины 30—60 *м* руды окислены. С поверхности рудные тела вскрыты густой сетью канав, по которым произведено опробование.

В отличие от Курултыкенского и Лугиинского месторождений, где ореолы рассеяния рудных тел достаточно четко повторяют очертание самих рудных тел (см. рис. 1), для Северо-Акатуйского месторождения характерна «шлейфовидная» форма ореолов (см. рис. 2).

Рязановское месторождение сложено известняками, песчаниками и сланцами палеозойского возраста и приурочено к мощной зоне дробления и смятия северо-восточного простирания. Для зоны смятия характерна общая зараженность свинцом, на фоне которой выделяются отдельные более обогащенные участки. С поверхности рудная зона вскрыта густой сетью магистральных канав и опробована по всей мощности.

В пределах планшета 12—II Рязановского месторождения развиты карбонатные породы с прослоями глинистых и кремнистых сланцев. На контакте сланцев и брекчированных известняков вскрыта зона окисленных полиметаллических руд, прослеженная канавами по простиранию на 25 *м* при средней мощности 2—4 *м*.

Козулинское месторождение. Участок 3—I сложен верхнекиммерийскими диорит-порфиритами и их туфами. Через весь участок в широтном направлении прослеживается крупное тектоническое нарушение, сопровождаемое серией более мелких. Среди брекчированных гидротермально измененных туфов и диорит-порфиритов вдоль основного разлома прослеживается зона рудной минерализации мощностью до 50 *м*, в пределах которой, по данным опробования, выделено пять жилообразных рудных тел с кондиционным содержанием свинца. Зона окисления редко опускается ниже 2 *м*. Рудная зона вскрыта достаточно густой сетью канав и опробована с поверхности. Интервал опробования включает рудные тела и слабоминерализованные вмещающие породы.

Поперечно-Зерентуйское месторождение. Участок 1—I сложен сланцево-карбонатными породами палеозоя и песчано-сланцевыми породами юры. Развиты дайки малых интрузий, представленные лампрофирами, фельзит-порфирами и диорит-порфирами. Оруденение приурочено к зоне разлома в известняках палеозоя. Зона окисления около нескольких десятков метров. С поверхности рудная зона вскрыта серией магистральных канав, опробованных бороздовым способом, однако число канав недостаточно для получения надежных данных о содержании свинца в рудном теле. Ореол рассеяния рудного тела имеет «шлейфообразную» форму, аналогичную ореолу Северо-Акатуйского месторождения.

Геоморфологическая обстановка на указанных выше участках примерно одинакова: углы наклона поверхности рельефа обычно не превышают 10—15°, коренные породы перекрыты элювиально-делювиаль-

ными отложениями мощностью 0,5—3 *м*, поверхность рыхлых отложений задернована, мощность гумусового слоя не превышает 0,3—0,4 *м*.

Значения коэффициентов пропорциональности q, которые в дальнейшем будем именовать коэффициентами корреляции ореолов рассеяния, полученные при расчетах по линейной q_l и площадной q_S интегральным формулам (1) и (5), приведены в таблице. Средние значения коэффициентов корреляции q_l и q_S довольно близки, если для расчета q_l используется достаточно большое число пересечений ореола и вычисляется среднее геометрическое значение

$$q_l = \sqrt[n]{q_1 q_2 q_3 \cdot \ldots \cdot q_n}, \qquad (6)$$

Коэффициенты корреляции ореолов рассеяния свинца

Месторождение	Местный нормальный фон, %	Число канав, использованных при расчете	q_l			q_S	Среднее q для месторождения
			min	max	среднее геометрическое		
Куруптыкенское							
Жилы:							
1	0	18	0,07	5,56	0,5	0,41	
2	0	9	0,04	4,15	0,63	0,58	
3	0	4	0,48	1,0	0,64	0,75	0,6
5 (западный фланг)	0	6	0,07	2,72	0,36	0,64	
5 (восточный фланг вместе с южными флангами жил 3 и 4)	0	33	0,08	2,93	0,6	0,59	
Лугиинское							
Главная рудная зона	0,03	14	0,14	15,5	1,53	1,47	1,5
Северо-Акатуйское							
Главное рудное тело участка II	0,002	10				0,87	0,7
Главное рудное тело участка III	0,002	10				0,50	
Рязановское							
Главная рудная зона	0	14	0,22	2,73	0,9	0,71	0,8
Планшет 12-II	0,0015	2	0,4	0,5	0,45	1,16	
Козулинское							
Планшет 3-I	0,003	9	0,14	2,4	0,78	0,74	0,8
Поперечно-Зерентуйское							
Планшет 1-I	0,003	6				1,58	1,6

а не среднее арифметическое. Последнее, по-видимому, объясняется тем, что колебания содержания металла в отдельных канавах подчиняются логарифмически нормальному закону, характерному для многих явлений. Значение же q_l по отдельным канавам может изменяться в 100 и более раз. Чем меньше пересечений, тем менее уверенные данные получаются о q. Как правило, расхождение средних значений q_l и q_S указывает на недостаточность опробования (например участок Рязановский, планшет 12-II). Достаточно близкие и устойчивые значения q для различных рудных тел одного и того же месторождения (Куруптыкенское, Северо-Акатуйское) свидетельствуют о возможности использования этих коэффициентов для других участков (рудных тел) этого же месторождения. Для четырех из шести опробованных месторождений (участков) q меньше единицы (от 0,6 до 0,8). Для трех участков q оказалось больше единицы, что обусловлено, возможно, как недостаточно

густой сетью опробования (Рязановское месторождение, планшет 12-11), шлейфообразным характером ореола (Поперечно-Зерентуйское месторождение), так и отсутствием данных о содержании металла во вмещающих породах (Лугиинское месторождение). Когда при расчете используются лишь данные по опробованию собственно рудных тел без учета непромышленного оруденения вмещающих пород, значение q получается, как правило, больше единицы. Такая картина, вероятно, могла бы быть, например, на Екатерино-Благодатском месторождении свинца, где «. .количество металла, рассеянное во вмещающей породе, во много раз превосходит количество его, сконцентрированное в рудных телах» [6, стр. 152].

Однако значения $q_S > 1$ можно получить не только за счет «кажущегося» обогащения вторичных ореолов рассеяния свинцом (исключение при подсчете первичного ореола рассеяния), но и вследствие происходящего при определенных условиях формирования ореолов обогащения металлом рыхлых элювиально-делювиальных отложений. В итоге обогащение ($q_S > 1$) или обеднение ($q_S < 1$) ореола рассеяния зависит от относительной подвижности рудных и породообразующих элементов в зоне гипергенеза. Кроме того, следует учитывать и характер распределения рудных элементов (в рассматриваемом случае свинца) в различных классах рыхлых отложений, так как при литохимической съемке в пробу отбирается мелкая фракция (обычно $<0{,}5$ *мм*, иногда даже $<0{,}1$ *мм*), часто либо обогащенная, либо обедненная рудным элементом. Для условий Восточного Забайкалья характерно некоторое обеднение свинцом тонких классов рыхлых отложений ($<0{,}1$ *мм*), чем, возможно, отчасти и объясняется $q_S < 1$.

Относительная подвижность рудных и породообразующих элементов зависит как от минералогического состава вмещающих пород и рудных тел, так и от климатических факторов. Для установления какой-либо зависимости q_S от состава вмещающих пород и типа руд в Восточном Забайкалье материала недостаточно. Учитывая, однако, что исследованные участки расположены в различных районах Восточного Забайкалья и характеризуются различной геологической обстановкой, можно предположить, что влияние состава вмещающих пород и типа руд при формировании ореолов рассеяния не очень велико. Возможно более существенное влияние в иной климатической обстановке. Так, по данным А. П. Соловова [5], для ряда месторождений хребта Кара-Тау, залегающих в карбонатных породах, наблюдалось значительное ($q_l \approx \approx 3$) обогащение верхних горизонтов ореолов рассеяния свинцом за счет избирательного выноса кальция и магния при формировании рыхлых элювиально-делювиальных отложений. Для одного из месторождений Центрального Казахстана $q_l = 1$ [5]. По сообщению П. А. Степанова, для двух других свинцовых месторождений Центрального Казахстана, залегающих в эффузивных породах, $q_l = 3 \div 4$. Следует, однако, с осторожностью относиться к указанным данным, так как, во-первых, значения q_l вычислялись по отдельным профилям и, во-вторых, не ясно, насколько полно учитывалось влияние первичных ореолов рассеяния. Тем не менее «кажущееся», а в отдельных случаях и истинное обогащение ореолов рассеяния свинцом, вероятно, характерно для многих, если не всех рудных районов. Наличие в таких районах многочисленных и достаточно интенсивных ореолов рассеяния свинца, связанных со сравнительно бедными (непромышленными) рудопроявлениями, подтверждает это положение.

Следует также отметить, что при прочих равных условиях значения q для шлейфообразных ореолов рассеяния выше, чем для нормальных ореолов. Для шлейфообразных ореолов рассеяния свинца в Восточном Забайкалье, как правило, $q > 1$.

Выводы

1. Устойчивость коэффициентов корреляции ореолов рассеяния свинца в пределах одного рудного поля позволяет проводить количественную интерпретацию вновь обнаруженных ореолов в пределах этого же рудного поля.

2. Небольшие пределы изменения значений коэффициентов корреляции в пределах одного рудного района позволяют использовать средние значения коэффициентов корреляции для интерпретации ореолов рассеяния свинца, обнаруженных при поисковой съемке.

3. При определении коэффициентов корреляции наиболее существенные ошибки в сторону завышения значений q_S обычно обусловлены отсутствием данных опробования вмещающих пород.

4. Более уверенные данные при вычислении коэффициента корреляции получаются при использовании площадной интегральной формулы, пригодной для ореолов и рудных тел любой формы, в том числе и для шлейфообразных ореолов.

5. Значения q для шлейфообразных ореолов, как правило, выше, чем для нормальных.

6. Использование линейной интегральной формулы, пригодной лишь для определения коэффициентов корреляции ореолов рудных тел жильной формы, допустимо при условии вычисления среднего геометрического значения q_l по нескольким пересечениям. Равенство $q_S = q_{l\text{ср}}$ свидетельствует о достоверности проведенных расчетов.

7. Определение коэффициентов корреляции ореолов рассеяния различных элементов позволит более уверенно вести расшифровку результатов литохимической съемки, вплоть до проведения количественной интерпретации, т. е. определения содержания металла в рудном теле по ореолу рассеяния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев М. Н. Опыт применения металлометрии на юге Красноярского края. Геохимические поиски рудных месторождений. Тр. I Всесоюзного совещания. Госгеолтехиздат, 1957.

2. Инструкция по металлометрической съемке. Госгеолтехиздат, 1957.

3. Савадский О. А. О перспективной оценке ореолов рассеяния полиметаллических месторождений в Восточном Забайкалье. Тр. ВИТРа. Новое в методике и технике геологоразведочных работ. 1958, № 1.

4. Соловов А. П. К вопросу об оценке перспективности оруденения по результатам металлометрической съемки. Разведка недр. 1952, № 4.

5. Соловов А. П. Основы теории и практики металлометрической съемки. Изд-во АН Каз. ССР, 1959.

6. Шатров Б. Б. Первичный ореол рассеяния Екатерино-Благодатского месторождения. Тр. ВИТРа. Новое в методике и технике геологоразведочных работ. 1959, № 2.